

# Núcleo Atómico



Con esta cuarta nota, el padre Ricardo J. Cocito S. J. nos introduce en un nuevo aspecto de la energía nuclear: el núcleo atómico. Ingeniero civil, después de estudiar en las universidades de Colonia y Münster (Alemania), el padre Cocito se especializa en física nuclear y obtiene el grado académico de Licenciado en Física en el Instituto "José A. Balseiro"; becado por la OEA trabaja en la Iowa State University (USA) en el campo de la Ingeniería nuclear, por lo que se le otorga el título de "Master of Science". El autor viene publicando en ESTUDIOS una serie de notas con el fin de introducir a los "no iniciados" en el complejo mundo de la era nuclear.

## EL DESCUBRIMIENTO DEL NUCLEO ATOMICO

Cuando J. J. Thomson propuso en 1898 su idea acerca del átomo, que los consideraba como esferillas llenas de materia cargada con electricidad positiva, en la que los electrones se hallaban como incrustados, su hipótesis pareció enteramente aceptable. Esa imagen del átomo, empero, tuvo vigencia tan sólo durante trece años. Nada extraño. Los átomos no pueden ser vistos, y todo lo que sabemos acerca de ellos ha sido indirectamente logrado. Esto significa que cualquier figura o modelo del átomo no puede eludir la probabilidad de ser inadecuada en cierta medida. Debe, por tanto, ser modificada para adaptarla a nuevos experimentos que en parte la contradicen.

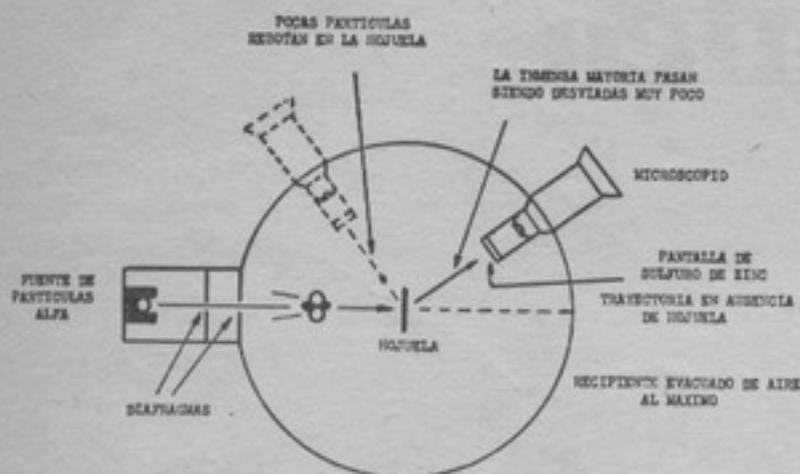
## RUTHERFORD, EL DECCUBRIDOR DEL NUCLEO ATOMICO

En 1907, Rutheford regresó de Canadá para ocupar la cátedra de física en la Manchester University. De la confrontación de los últimos datos experimentales con el modelo de Thomson surgía un manifiesto desacuerdo. ¿Cómo explicar que

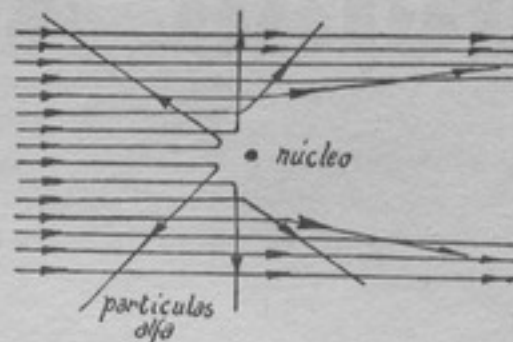
las partículas alfa, las beta y los rayos gamma logren abrirse paso a través de un cuerpo sólido, estando éste constituido por esferillas llenas de materia apretadamente empaquetadas? El hecho es innegable: delgadas láminas de oro, platino, cobre... son atravesadas por tales radiaciones. Con el objeto de investigar más de cerca esto mismo, dos colaboradores de Rutherford, Geiger y Marsden, montaron un dispositivo para facilitar la medida de la desviación angular sufrida por las partículas alfa luego de atravesar dichas hojuelas. La laminilla de oro usada tenía un espesor de 0.00003 de centímetro (a modo de comparación pensemos que un cabello humano tiene un diámetro aproximado de 0,01 de centímetro). En ese tenue espesor, no obstante, se pueden contar unos 400 átomos. En comparación con la partícula alfa —de masa 50 veces menor que un átomo de oro y arojada a 25.000 kilómetros por segundo por una pastilla de radio— la hojuela de oro se erguía como un colosal muro de 400 ladrillos de espesor bombardeado por piedras del tamaño de una nuez.

El hecho de que la gran mayoría de las partículas atravesaran la hojuela de oro sufriendo una leve

desviación y que unas pocas (1 en 8.000, según midieron Geiger y Marsden en 1909) rebotaran, resultó bien extraño para Rutherford. La laminilla es prácticamente transparente a las partículas alfa, que eran detectadas por el centelleo de las mismas al chocar sobre una pantalla recubierta con sulfuro de zinc.



quedó ampliamente admitido. Según éste, prácticamente toda la masa del átomo está concentrada en su centro, denominado **núcleo**, estando los electrones sobre una corteza imaginaria, girando a gran velocidad según distintas órbitas para evitar ser atrapados por el núcleo. El átomo fue transformado, pues, en un pequeño sistema



solar en el que los electrones, a fuer de planetas, orbitan alrededor del núcleo.

El núcleo más liviano, el del hidrógeno, queda reducido a un radio menor que 0,000 000 000 003 de centímetro, mientras su único electrón giraría con un radio mucho mayor, de 0,000 000 053 de centímetro!

Naturalmente estas dimensiones tan diminutas no pueden ser imaginadas por nosotros. Unos años más, y la configuración del átomo escapará totalmente a nuestra imaginación. La realidad material en sus últimos sillares ya no es tan material que se deje captar por nuestros sentidos, sino tan solo puede ser pensada, captada por nuestra inteligencia. Al núcleo del hidrógeno, por ser el del primer elemento, se lo denominó **protón**.

Los cálculos basados en las desviaciones sufridas por las partículas alfa al hacer impacto sobre otros elementos demuestran que las cargas eléctricas de los núcleos correspondientes son múltiplos enteros de las del núcleo de hidrógeno. Tendiendo nuestra mente a simplificar y unificar, se pensó que esos núcleos estarían compuestos por tantos núcleos de hidrógeno o protones como lo exige su carga eléctrica.

Así, el helio contaría con dos protones, el litio con tres, el berilio con cuatro... y el uranio con 92; correspondientemente, tantos electrones girando en respectivas órbitas. Salvo un par de excepciones, todos esos múltiplos resultaron ser iguales a los números de orden de los elementos ordenados de acuerdo a su masa. Cosa admirable, el simple número de orden cobró un significado profundo, tan profundo, que es el que caracteriza al átomo, por lo que se le denominó **número atómico**. Un átomo, pues, no deja de ser tal al perder uno, dos o más electrones mientras conserve íntegra su carga positiva nuclear; tan sólo dejará de ser neutro para convertirse en un ión

Tratando de salvar al modelo de Thomson, se hizo la suposición de que la masa del átomo cargada positivamente, estaría pulverizada llenando todo su volumen, algo así como una nube. Efectuados los cálculos en base a esta hipótesis y a la ley conocida que da la fuerza de repulsión entre cargas positivas, la del átomo y la de la partícula alfa, el resultado tampoco coincidió con los datos del experimento. El átomo de Thomson había de ser modificado para adaptarlo a los hechos. Surgió entonces la idea de un núcleo en el centro del átomo donde se concentraría toda la masa con carga positiva. Los datos experimentales forzaron la reducción de dicho núcleo hasta un radio 10.000 veces menor que el radio de todo el átomo, ocupando los electrones la región más externa a modo de cáscara que envuelve un inmenso vacío. La mayoría de las partículas alfa pasaría a través de ese gran vacío casi sin desviarse, y las pocas cuya trayectoria rozaba o enfrentaba al núcleo serían desviadas con gran ángulo y hasta repelidas hacia atrás por la gran intensidad de la fuerza repulsiva originada por una carga eléctrica tan concentrada en el núcleo. Los electrones, debido a la pequeñez de su masa, no cuentan como posible causa de la desviación en estudio.

Esta hipótesis se vio más y más corroborada en sucesivos experimentos con hojuelas de distintas sustancias. Para ajustar el átomo a las medidas del experimento la masa positiva había de estar tan apelmazada que si se yuxtapusieran millones y millones de núcleos hasta llenar un volumen igual a la cabeza de un alfiler, ésta pesaría 100.000 toneladas.

En la misma línea experimental continuó Chadwick hasta 1920. El nuevo modelo de Rutherford

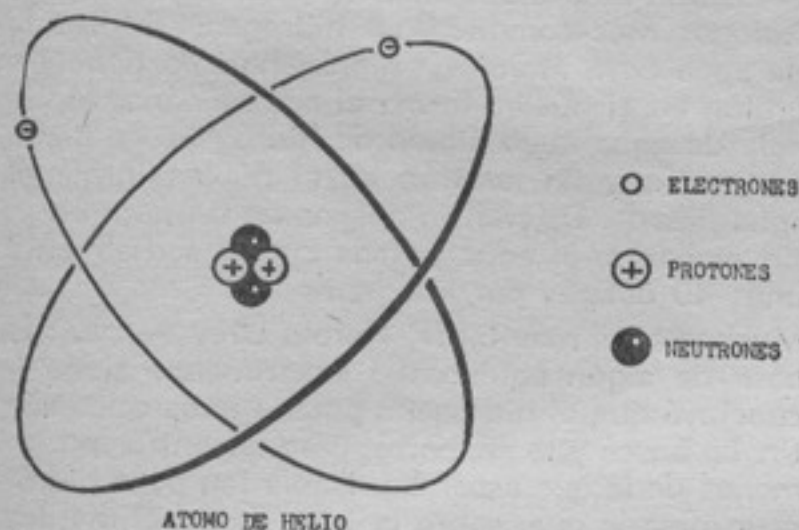


con tantas cargas elementales positivas como electrodos haya perdido.

## EL NEUTRON

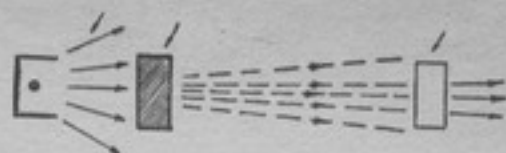
Restaba todavía una incógnita por dilucidar como consecuencia del descubrimiento del núcleo. La masa del átomo ya conocida, resultó ser alrededor del doble que la masa total de los protones necesarios para justificar su carga eléctrica. Así, p. e., el núcleo de helio tiene dos cargas positivas, esto es, dos protones, mientras la masa del átomo de helio es cuatro veces mayor que la del protón. Recordemos que la masa de los dos electrones —1.840 veces menor que la de un protón— no puede balancear esa diferencia. ¿Qué otra cosa existe en el núcleo responsable de esa diferencia?

El mismo Rutherford sugirió la respuesta. Existiría en el núcleo otro tipo de partículas con masa igual a la del protón pero sin carga eléctrica, neutra. Entonces el núcleo de helio estaría formado por dos protones y dos de esas partículas neutras.



La confirmación de la idea de Rutherford sobrevino recién doce años más tarde. Durante esos años no pocos físicos emplearon partículas alfa para bombardear diferentes elementos. Irene Joliot-Curie (la hija de María Curie) y su esposo, F. Joliot, hallaron que el berilio emitía una radiación desconocida al ser golpeado por las partículas alfa arrojadas por el polonio. Trataron de absorber esa radiación mediante bloques de parafina, pero en lugar de ser reducida emanaba de la parafina otra más intensa todavía. Analizada esta última, fue reconocida como constituida por protones.

Debido a su poder de penetración, pensaron que la radiación emitida por el berilio eran rayos gamma, y que éstos, al incidir sobre la parafina, arrancarían protones. En 1932, empero, luego de repetidos experimentos realizados en Ingle-



terra, Chadwick pudo demostrar, en base a consideraciones energéticas, que la penetrante radiación desconocida no podía estar constituida por rayos gamma. En cambio, guiado por la hipótesis de Rutherford, se le cruzó la idea de que podían ser partículas neutras. Efectivamente, repetido el experimento con otras sustancias distintas de la parafina, y basándose en colisiones elásticas entre dicha partícula incógnita y los diferentes núcleos opuestos como blancos, todo señalaba a una partícula neutra con masa parecida a la del protón. Se lo denominó **neutrón**. Los mismos esposos Joliot-Curie se inclinaron a favor de la interpretación de Chadwick, y añadieron que si ellos hubieran oído de la hipótesis de Rutherford, también habrían identificado a esa nueva radiación como partículas neutras y no como rayos gamma. No es la única vez que eminentes físicos no han logrado reconocer lo que habían descubierto y caía ante sus ojos. La existencia del neutrón quedó definitivamente incorporada al gremio de las partículas subatómicas.

## ISOTOPOS

De lo dicho hasta ahora queda claro que el modelo atómico de Rutherford comprende dos regiones bien distintas: el núcleo y la cáscara o corteza del átomo. En esta última giran los electrones, mientras el núcleo está constituido por dos clases de partículas: los protones y los neutrones. Nos falta escudriñar algo más el contenido del núcleo de cuyo seno surgirá la energía nuclear.

Protones y neutrones reciben el nombre de "**nucleones**" por estar en el núcleo. Un protón y un neutrón tienen casi exactamente el mismo peso.

El protón posee una unidad de carga eléctrica positiva, esto es, la misma cantidad que el electrón pero con signo contrario. El neutrón es una partícula eléctricamente neutra. Por consiguiente, la carga del núcleo es igual al número de protones que contiene, e independiente del número de neutrones. El peso del núcleo, en cambio, resulta de la suma de todos sus protones y neutrones.

La presencia de neutrones en el núcleo da lugar a la existencia de los "**isótopos**".

Continuando con los experimentos sobre radiactividad —comentada en el número anterior—, los físicos han hallado que el producto final de las desintegraciones del uranio, actinio y torio, resultó ser el mismo elemento, el plomo. Los tres descendientes finales son químicamente idénti-

cos: ellos reaccionan de la misma manera cuando son atacados con ácidos u otros agentes químicos. Pero ellos están constituidos por átomos no iguales, tienen masas diferentes: el último vástago del uranio es un átomo de plomo con 206 por peso atómico, el último del actinio es un átomo de plomo pero con peso 207, y el último del torio pesa 208. ¡Tres átomos de plomo, pero distintos!

Cosa jamás pensada antes. Los átomos de un mismo elemento no son todos iguales; se da una variedad de átomos dentro de un mismo elemento. Del elemento plomo se conocen siete variedades. Cada variedad se denomina un **isótopo** de dicho elemento: se dan siete isótopos del plomo. Su nombre proviene del griego isos (igual) y topos (lugar), esto es, ocupan el mismo lugar en la tabla periódica de los elementos, donde a cada lugar corresponde igual comportamiento químico. Una consecuencia importante de este hecho es que las moléculas, que solamente difieren en que un isótopo ha sido sustituido por otro, son biológicamente indistinguibles. Tienen el mismo sabor, huelen lo mismo. Son ingeridas por nuestro cuerpo y se depositan o son excretadas del mismo modo.

Los isótopos de un elemento, naturalmente tienen el mismo número de protones, pues, como dijimos, este número individualiza al elemento. Así, las siete variedades del plomo poseen 82 protones, y consiguientemente 82 electrones. De estos últimos depende la actuación química del elemento, razón por la cual es la misma para todos sus isótopos. ¿En qué se distinguen los siete isótopos del plomo? No resta sino atribuir la diferencia al número de neutrones. Los 124 neutrones del último vástago del uranio, los 125 del último del actinio y los 126 del último del torio, sumados a los 82 protones nos dan el número total de nucleones de los mismos y sus respectivos pesos atómicos.

La historia del descubrimiento de los isótopos del hidrógeno es divertida. Hace unos sesenta años —antes de que se hubiera pensado siquiera en los isótopos—, dos científicos trataron de medir

la densidad del agua. Purificaron el agua haciéndola hervir y condensando el vapor. Pero más la purificaban más liviana se hacía... La diferencia era pequeña pero perceptible. Finalmente renunciaron: parecía que el agua carecía de densidad!

Lo que realmente pasó fue lo siguiente: el agua liviana hierve más fácilmente que el agua pesada. Sin pensar en eso, aquellos científicos habían empezado a separar isótopos, justamente los dos isótopos más comunes del hidrógeno. Molécula de agua cuyo átomo de hidrógeno sólo tiene un protón en el núcleo forma el agua liviana. Molécula de agua cuyo átomo de hidrógeno contiene un protón y un neutrón en el núcleo forma el agua pesada. Diferencia apenas de un neutrón y, sin embargo, el agua pesada cuesta actualmente unos 40 dólares por kilogramo.

Muchos años más tarde, Harold Urey —sobre la base de algún equivocado experimento ajeno— concluyó que el hidrógeno pesado tenía que existir. Lo buscó y lo encontró, pero encontró mucho menos de lo que esperaba. Había tan poco hidrógeno pesado que, sobre la base de experimentos correctos, Urey nunca hubiera adivinado su presencia. Parece que una idea infundada es más provechosa que la ausencia total de ideas.

Se ha hallado que casi todos los elementos de la naturaleza consisten en más de un isótopo. El uranio, por ejemplo, está principalmente compuesto de dos: uno con 143 neutrones y el otro con 146. Como el átomo de uranio tiene 92 protones, sus pesos son 235 y 238, respectivamente. Es habitual referirse a esos isótopos como U235 y U238. El U235, de gran valor para los reactores atómicos y para la fabricación de bombas atómicas, es comparativamente raro, encontrándose solamente en la proporción de una parte en 140 de uranio natural. La separación de este raro isótopo del más abundante U238 fue una de las mayores empresas del Manhattan Project, durante la segunda guerra mundial, que costó dos mil millones de dólares.

**Ricardo J. Cocito**